

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

## Épreuve Commune de Contrôle Continu

### E3C

#### SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Coefficient 5

Durée : 2 heures

Aucun document autorisé – Calculatrice autorisée

**SUJET SI-N°05-04**

#### Constitution du sujet



- **Présentation du produit** ..... Page 2
- **Étude d'une performance du produit** .....Pages 3 à 5
- **Commande du fonctionnement du produit ou modification de son comportement** .....Pages 6 à 7
- **Documents réponses**.....Page 8

#### Rappel du règlement de l'épreuve

*Le sujet comporte deux exercices indépendants l'un de l'autre, équilibrés en durée et en difficulté, qui s'appuient sur un produit unique.*

*Un premier exercice s'intéresse à l'étude d'une performance du produit. Les candidats doivent mobiliser leurs compétences et les connaissances associées pour qualifier et/ou quantifier cette performance, à partir de l'analyse, de la modélisation de tout ou partie du produit ou de relevés expérimentaux.*

*Le second exercice porte sur la commande du fonctionnement du produit ou la modification de son comportement. L'étude s'appuie sur l'algorithmique et de la programmation, à partir de ressources fournies au candidat qu'il devra exploiter, compléter ou modifier.*

*L'usage de la calculatrice est autorisé dans les conditions précisées par les textes en vigueur.*

# 1. Présentation du produit

Le système étudié est le lanceur RoboPro Junior proposé par Tibhar utilisé lors d'entraînements de tennis de table. Le contexte d'utilisation est décrit par le diagramme figure 1.

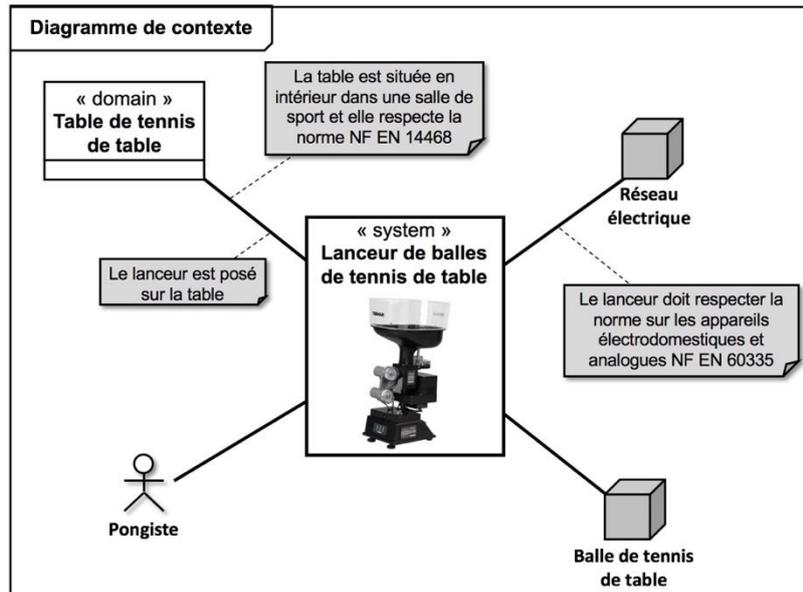
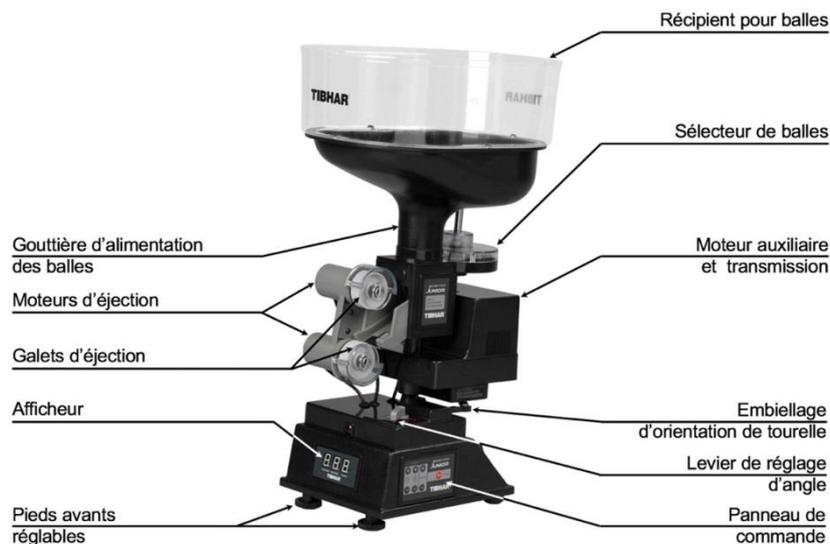


Figure 1 : Diagramme de contexte du lanceur Tibhar.

L'éjection d'une balle est réalisée par une association de deux galets (un supérieur et un inférieur) mis en mouvement dans des sens opposés par des moteurs à courant continu.

La balle, située dans le récipient supérieur, est mise en attente par le sélecteur de balle qui en libère une à chaque fois qu'il fait un tour.

De plus, un système mécanique réglable de type bielle-manivelle permet la rotation de l'ensemble de la tourelle.



## 2. Exercice 1 : Étude d'une performance du lanceur

**Objectif : Déterminer** les conditions géométriques du mécanisme d'oscillation de la tourelle pour garantir l'envoi des balles sur toute la zone d'entraînement attendue.

La figure 3 présente le diagramme des exigences partiel du lanceur étudié.

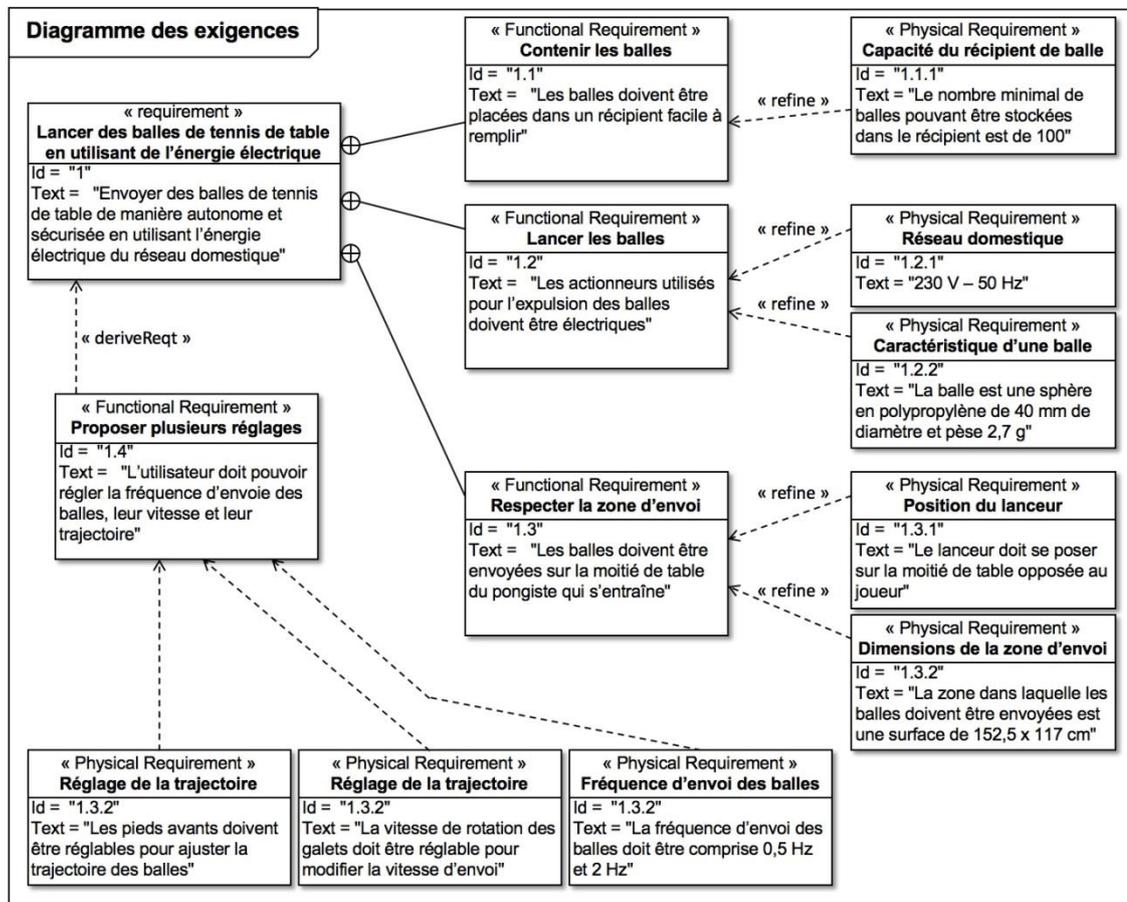


Figure 3 : Diagramme des exigences partiel du lanceur de balles.

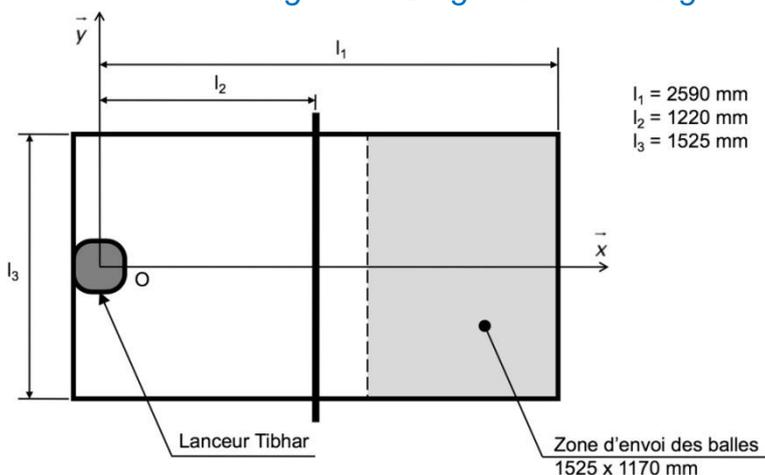


Figure 4 : Positionnement du lanceur et identification de la zone d'envoi.

**Question 1.1. Justifier** la nécessité d'intégrer un système d'orientation au regard du diagramme des exigences (figure 3) et du schéma figure 4. **Calculer** l'angle maximal de balayage (noté  $\theta$ ) que la tourelle doit assurer pour garantir le respect de cette exigence.

Pour la suite de l'étude, on retient un angle maximal de balayage souhaité de  $\theta = 56^\circ$ .

La figure 5 présente une photo de la tourelle et de son débattement angulaire réel entre les deux positions extrêmes.

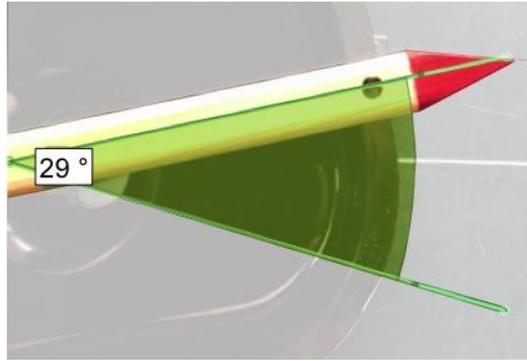


Figure 5 : Résultat de la mesure du débattement angulaire de la tourelle entre ses deux positions extrêmes.

**Question 1.2.** Suite à cette mesure (figure 5), **conclure**, en justifiant par un calcul d'écart en pourcentage, quant au respect du cahier des charges.

Pour valider les modifications du lanceur, un travail sur un modèle mécanique est envisagé. Ce dernier se concentre sur la transmission mécanique qui assure l'oscillation de la tourelle.

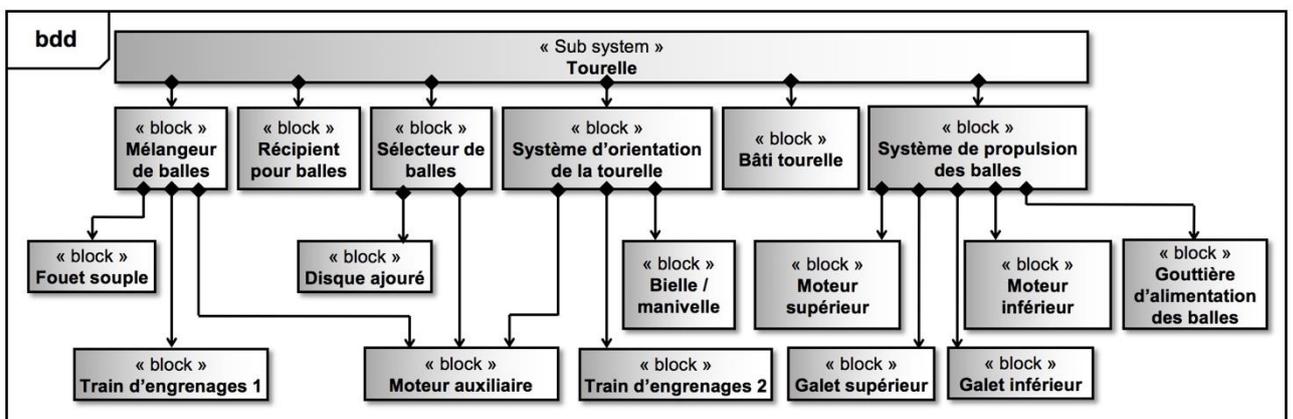


Figure 6 : Diagramme de blocs (BDD) du sous-ensemble « Tourelle ».

**Question 1.3.** En utilisant le diagramme de blocs (figure 6) et à partir du schéma cinématique du document DR1, **préciser** les éléments qui composent le système d'orientation de la tourelle. Pour chacun d'entre eux, **nommer** les grandeurs flux et les grandeurs effort d'entrée et de sortie.

**Question 1.4.** **Proposer**, en le justifiant, un modèle de liaison associé à la mobilité entre la tourelle S1 et le bâti S0. **Compléter**, sur le document réponse DR1, le schéma cinématique.

Suite à un travail préliminaire de paramétrage, le logiciel de simulation a calculé les différentes positions angulaires de la tourelle par rapport au bâti (voir figure 7).

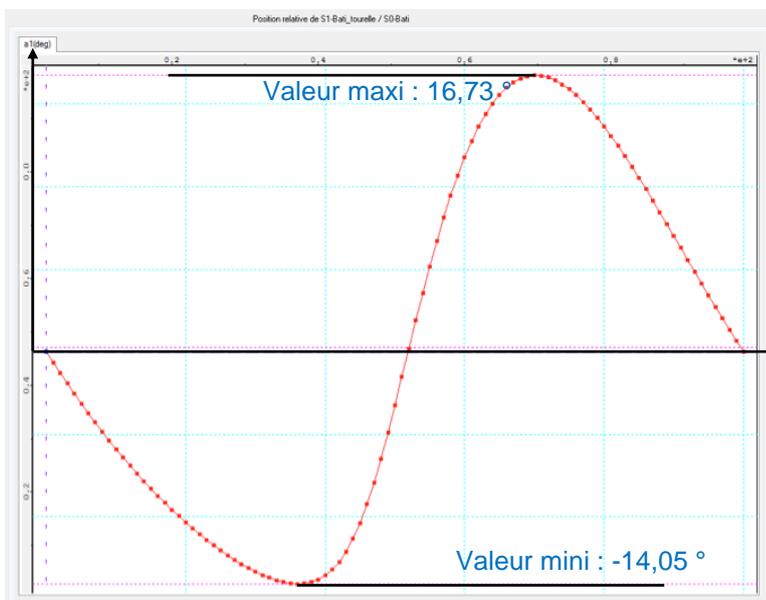


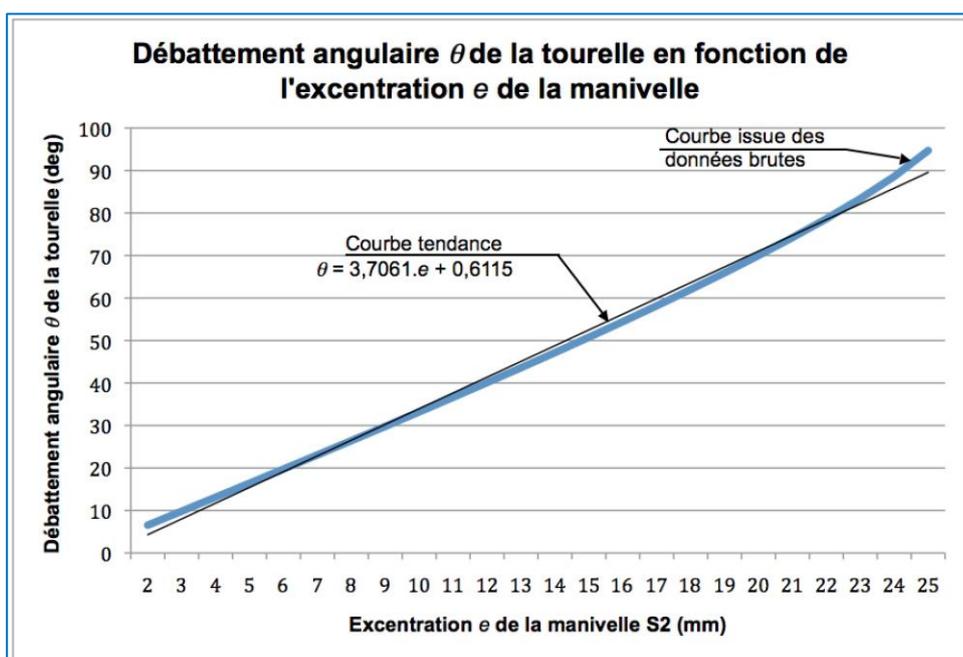
Figure 7 : Évolution de la position angulaire de la tourelle par rapport au bâti en fonction du temps pour un cycle complet de balayage depuis la position médiane.

**Question 1.5.** D'après la figure 7, relever l'angle total balayé par la tourelle. Conclure sur la validité du modèle en calculant l'écart pour le critère « angle de balayage ».

On souhaite désormais ajuster le paramétrage du modèle pour atteindre les performances attendues ( $\theta = 56^\circ$ ). On fixe la longueur de la bielle S3 ( $CB = 55 \text{ mm}$ ) ainsi que la distance OA ( $= 35 \text{ mm}$ ) et on cherche la longueur optimale de l'excentricité  $e$  de la manivelle S2.

**Question 1.6.** À l'aide de l'équation de la courbe tendance (figure 8), calculer la valeur de l'excentricité  $e$  de la manivelle S2 qui garantisse le respect du cahier des charges. Suite à cette étude, conclure sur l'objectif initialement fixé.

Figure 8 : Courbe issue de l'exploitation de la loi entrée – sortie du mécanisme d'orientation de la tourelle.



### 3. Exercice 2 : Commande du lanceur

**Objectif :** Analyser le système d'oscillation droite / gauche du lanceur et modifier le système de commande pour qu'il lance les balles à fréquence variable.

Un point important en tennis de table pour un entraînement efficace est de varier les situations de jeu. Une des limites actuelles de ce modèle de lanceur est justement que les balles ne sont envoyées qu'en extrémité de course (droite ou gauche). Cela rend prévisible la trajectoire de la balle avant même qu'elle ne soit éjectée.

Adapté à certains exercices pour des juniors, on souhaite faire évoluer ce fonctionnement en proposant un mode « Aléatoire ».

Dans ce nouveau mode, le lanceur doit envoyer les balles de gauche à droite à une fréquence réglable, sans pour autant dépasser la limite haute fixée par l'utilisateur ni la limite basse qui rendrait l'exercice inintéressant.

Dans un premier temps, on se propose d'analyser la façon dont la tourelle oscille de gauche à droite.

**Question 2.1.** À la lecture du document réponse DR1, déterminer le nombre d'aller-retour effectué(s) par la tourelle lorsque la manivelle S2 a fait un tour.

On s'intéresse à présent à la solution constructive retenue pour libérer les balles depuis le récipient de stockage vers le module d'éjection. Les concepteurs ont choisi d'utiliser un disque ajouré qui tourne en continu (figure 9).

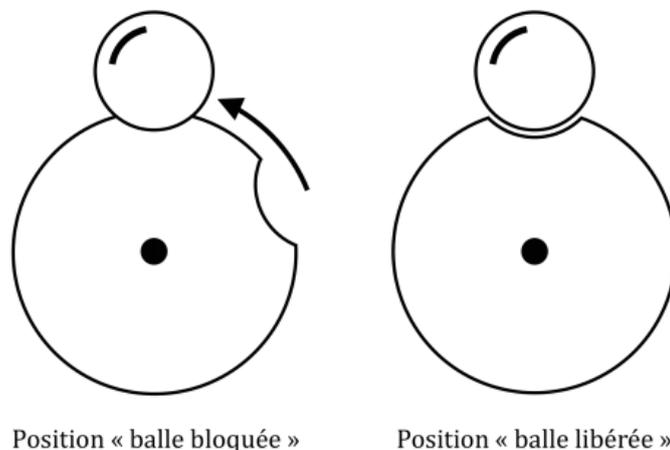


Figure 9 : Principe de libération des balles grâce au disque ajouré (vue de dessus).

**Question 2.2.** Déterminer le nombre de balles libérées à chaque tour du disque ajouré. D'après les fréquences d'envoi des balles précisées dans le diagramme des exigences (figure 3), calculer les vitesses angulaires extrêmes attendues du disque en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Dans l'optique d'introduire un nouveau mode de fonctionnement qui permettrait une fréquence réglable des lancers des balles, une solution est de remplacer le disque ajouré présent par un actionneur électromécanique de type solénoïde (figure 10).

Celui-ci permettra, à chaque impulsion de commande, de libérer une balle.



Figure 10 : Solénoïde sélectionné  
(Référence : ZH0 – 0420S – 05A4.5).

Sa tension nominale d'alimentation est de 5 V et sa résistance de 4,5  $\Omega$ . Le modèle équivalent simplifié en continu de l'actionneur est une résistance.

**Question 2.3. Représenter**, sur votre copie, le modèle équivalent électrique de ce nouveau composant. Pour la tension d'alimentation nominale, **calculer** l'intensité du courant nécessaire à l'alimentation de cet actionneur ainsi que la puissance électrique consommée.

Des mesures ont été effectuées dans des conditions réelles. En moyenne, sur un entraînement d'une durée d'une heure, le robot est en fonctionnement 35 minutes et a une consommation énergétique globale de 15 W·h.

Le système actuel de disque ajouré pour libérer les balles ne représente que 10 % de la consommation totale du robot.

**Question 2.4. Calculer** la consommation énergétique de la nouvelle solution proposée avec l'actionneur électromécanique dans les mêmes conditions d'entraînement. En **déduire** la surconsommation globale qui serait engendrée par cette évolution.

Un extrait de l'algorithme qui gère la vitesse du lancer est proposé dans le document réponse DR2. On rappelle que la fréquence de lancer des balles doit être réglable entre 0,5 Hz et 2 Hz.

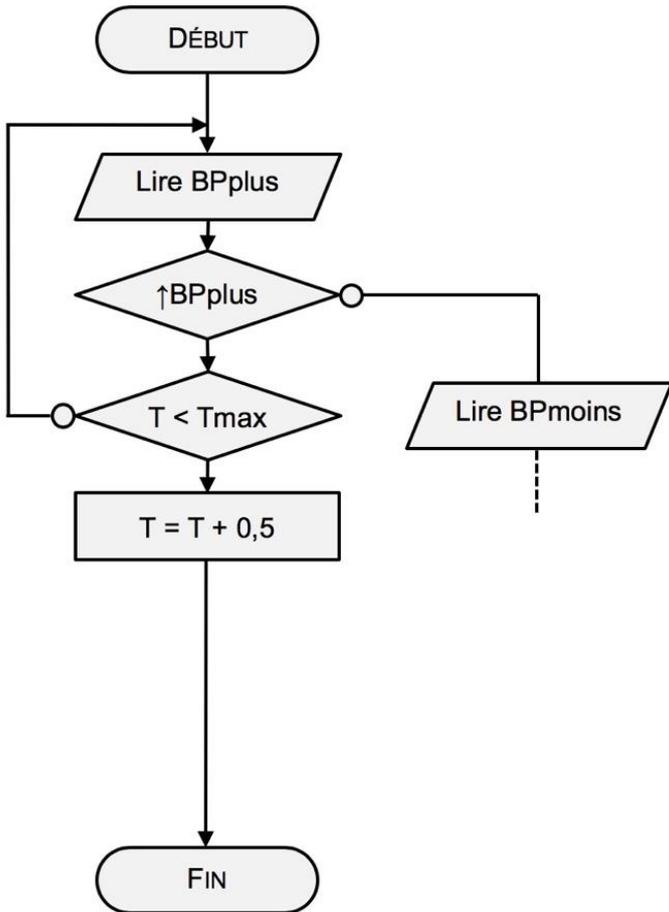
**Question 2.5. Calculer** les intervalles de temps maxi et mini entre chaque lancer (notés  $T_{max}$  et  $T_{min}$ ). À la lecture de l'algorithme (DR2), en **déduire** le nombre de réglages possibles.

**Question 2.6. Compléter** la partie de l'algorithme (DR2) qui permet de réduire la fréquence d'envoi des balles pour un pas de décrémentation identique à celui de l'incrément. **Conclure** sur le fait que le lancer peut se produire dans une position aléatoire.



## Document réponse DR2

### Exercice 2 – Étude de performance (Question 2.6.)



#### Déclaration des variables :

BPplus : information appui bouton poussoir augmentation vitesse.

↑ BPplus : front montant du signal BPplus.

BPmoins : information appui bouton poussoir diminution vitesse.

↑ BPmoins : front montant du signal BPmoins.

T : intervalle de temps entre deux lancers

Tmax : intervalle de temps maximal entre deux lancers

Tmin : intervalle de temps minimal entre deux lancers.

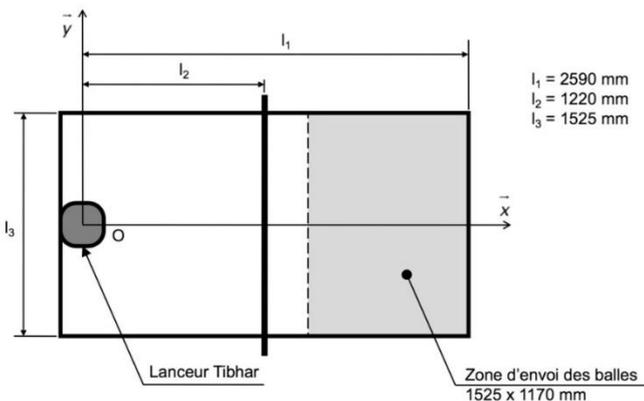
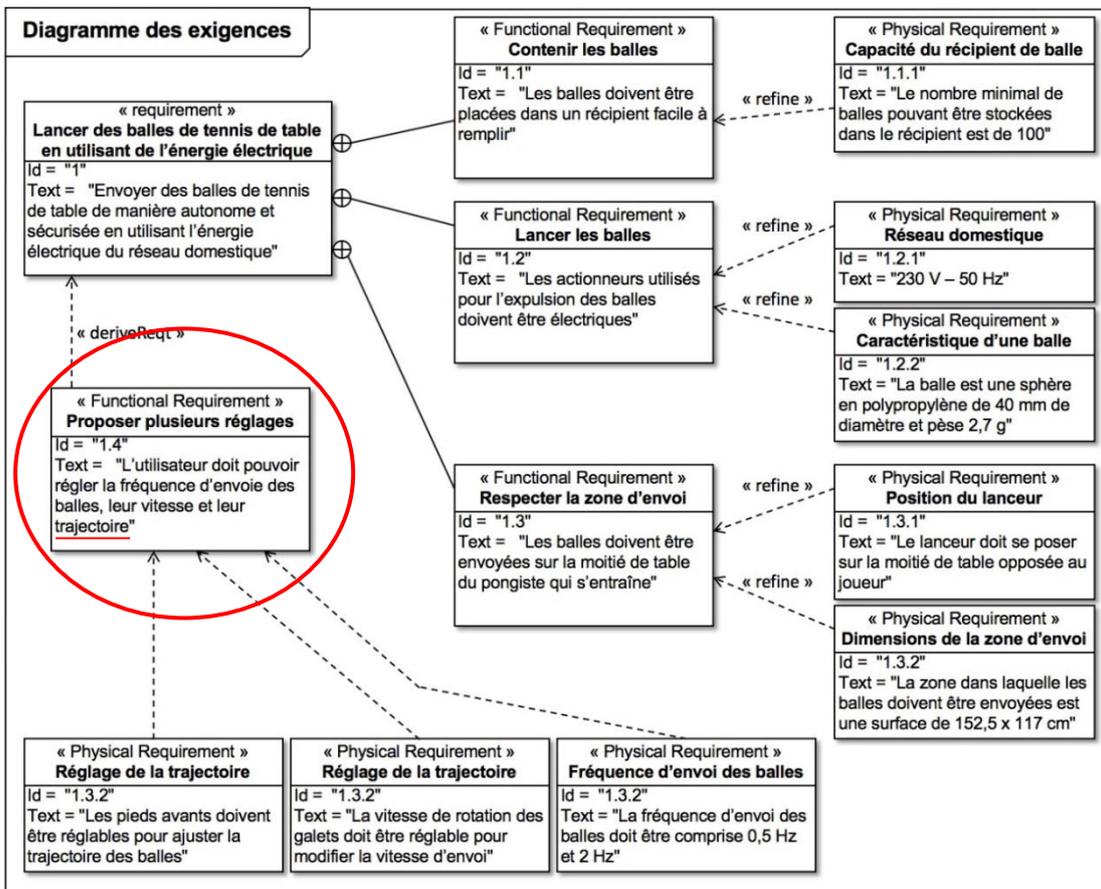
## Éléments de Réponse

**Question 1.1. Justifier** la nécessité d'intégrer un système d'orientation au regard du diagramme des exigences (figure 3) et du schéma figure 4. **Calculer** l'angle maximal de balayage (noté  $\theta$ ) que la tourelle doit assurer pour garantir le respect de cette exigence.



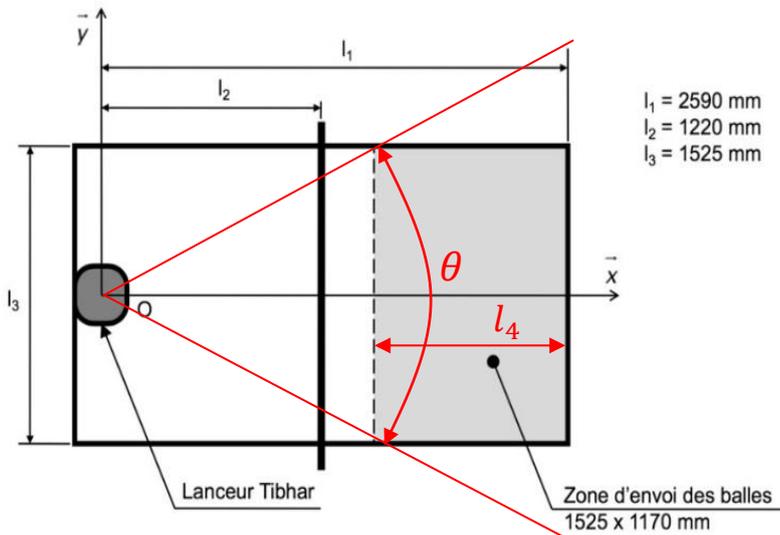
Le diagramme des exigences décrit graphiquement une capacité ou une contrainte qui doit être satisfaite par un système. C'est une interprétation du cahier des charges

Le diagramme des exigences, rappelé ci-dessous, indique qu'il est indispensable de "**Proposer plusieurs réglages**". Parmi ces réglages, l'utilisateur doit pouvoir régler la trajectoire des balles.



La figure ci-contre indique en couleur grisée la zone d'envoi des balles telle qu'elle est définie par l'exigence "**Respecter la zone d'envoi**". Pour obtenir un lancé de balles sur toute la largeur de la table, il est indispensable d'avoir un système de réglage de l'orientation.

Le calcul de l'angle maximal de balayage noté  $\theta$  s'effectue en utilisant la figure 4 et les règles de trigonométrie. L'angle maximal est défini de telle sorte que toute la surface grisée puisse être accessible. On note  $l_4$  la longueur de la zone d'envoi des balles.



Nous pouvons écrire :

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\frac{l_3}{2}}{l_1 - l_4} = \frac{l_3}{2(l_1 - l_4)}$$

Ainsi  $\theta = 2 \tan^{-1} \left[ \frac{l_3}{2(l_1 - l_4)} \right]$

Application numérique :

$$\theta = 2 \times \tan^{-1} \left( \frac{1525}{2 \times (2590 - 1170)} \right)$$

$$\theta = 56,47^\circ$$

L'angle maximal de balayage  $\theta$  que la tourelle doit assurer est  $56,47^\circ$

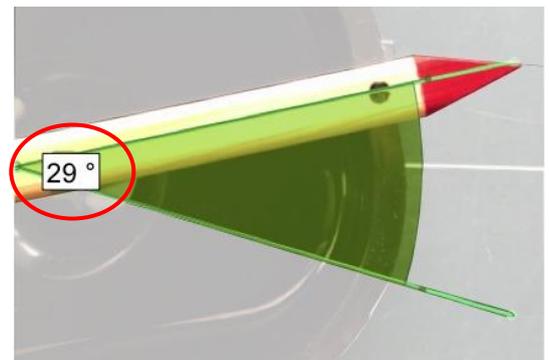
**Question 1.2.** Suite à cette mesure (figure 5), **conclure**, en justifiant par un calcul d'écart en pourcentage, quant au respect du cahier des charges.

D'après le texte, on retient comme angle maximal de balayage  $\theta = 56^\circ$   
 La figure 5 montre un écart important :

Calculons l'erreur relative constatée entre l'angle maximal de balayage calculé et l'angle maximal de balayage relevé :

$$\Delta\theta(\%) = \frac{\theta_{calculé} - \theta_{mesuré}}{\theta_{calculé}} \times 100$$

Application numérique :  $\Delta\theta(\%) = \frac{56 - 29}{56} \times 100 = 48,2\%$



L'erreur relative est de 48,2 %, l'angle maximal de balayage mesuré ( $29^\circ$ ) ne permet pas de répondre correctement au cahier des charges puisque toute la zone d'envoi des balles n'est pas accessible.

**Question 1.3.** En utilisant le diagramme de blocs (figure 6) et à partir du schéma cinématique du document DR1, **préciser** les éléments qui composent le système d'orientation de la tourelle. Pour chacun d'entre eux, **nommer** les grandeurs flux et les grandeurs effort d'entrée et de sortie.

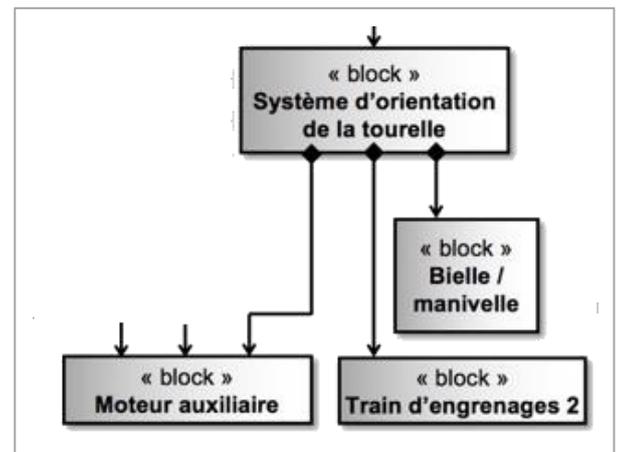
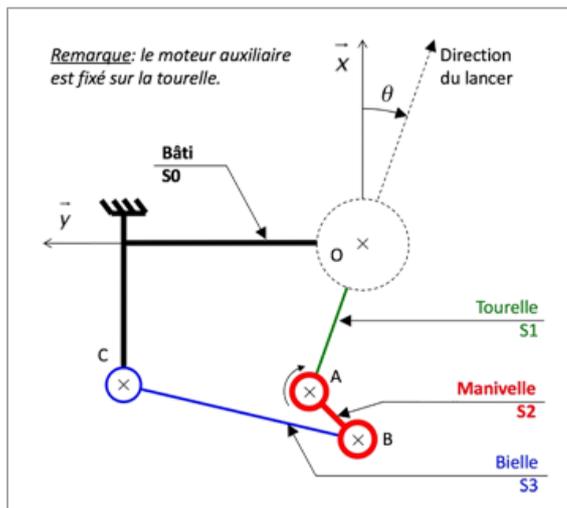


Le diagramme de définition de blocs (BDD : *Block Definition Diagram*) est un diagramme qui décrit la structure matérielle d'un système. Un bloc peut modéliser tout le système, un élément matériel ou logiciel.

D'après le diagramme de définition de blocs, les éléments qui composent le système d'orientation de la tourelle sont :

- ✓ Le moteur auxiliaire,
- ✓ Le train d'engrenages 2,
- ✓ Le système bielle / manivelle

Le schéma cinématique nous précise que le moteur auxiliaire est fixé sur la tourelle et que par conséquent il sera capable de provoquer une rotation de la manivelle par rapport à la tourelle.



La cinématique de l'ensemble n'est pas forcément simple à comprendre. Il est important de noter que l'actionneur (le moteur) est placé **entre la tourelle et la manivelle** : son châssis n'est donc **pas solidaire de la masse mécanique** du système



Les grandeurs d'effort et de flux sont habituellement représentés par le symbole normalisé :

$$\frac{e}{f} \rightarrow$$

Par définition, Une grandeur d'effort est, dans le domaine des Sciences de l'Ingénieur, une grandeur qui « tend » à déplacer de la matière.

**Grandeurs d'effort : FORCE, COUPLE, PRESSION, TENSION ÉLECTRIQUE...**

Une grandeur de flux est, dans le domaine des Sciences de l'Ingénieur, une grandeur qui traduit un déplacement de matière.

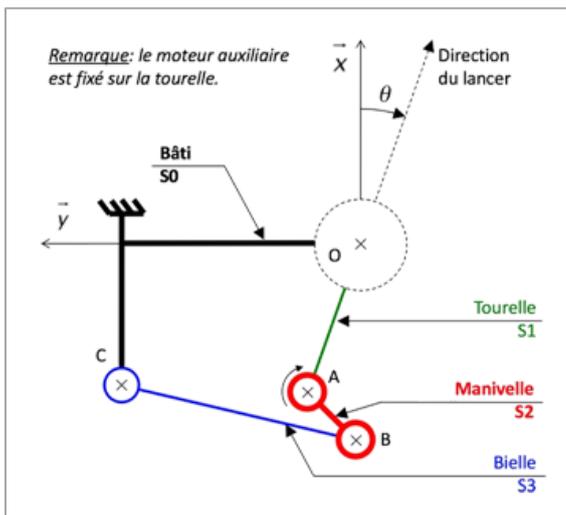
**Grandeurs de flux : VITESSE, VITESSE ANGULAIRE, DÉBIT, COURANT ÉLECTRIQUE...**

Nommons les grandeurs de flux et d'effort pour les éléments qui composent le système d'orientation de la tourelle :

	Entrée		Sortie	
	Flux	Effort	Flux	Effort
Moteur auxiliaire	Courant	Tension	Vitesse angulaire	Couple mécanique
Train d'engrenages	Vitesse angulaire	Couple mécanique	Vitesse angulaire	Couple mécanique
Bielle / Manivelle	Vitesse angulaire	Couple mécanique	Vitesse angulaire	Couple mécanique

**Question 1.4. Proposer, en le justifiant, un modèle de liaison associé à la mobilité entre la tourelle S1 et le bâti S0. Compléter, sur le document réponse DR1, le schéma cinématique.**

Reprenons le schéma cinématique :



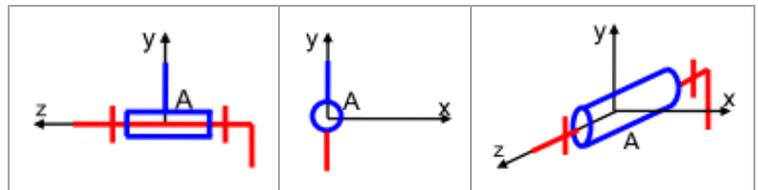
Les mobilités recherchées entre la tourelle S1 et le bâti S0 correspondent à :

- ✓ 0 translation,
- ✓ 1 rotation d'axe  $\vec{z}$  et de centre O

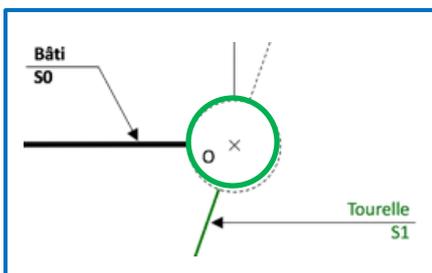
Le cours sur les liaisons mécaniques nous oriente vers une liaison de type :

PIVOT d'axe  $\vec{z}$  et de centre O

La schématisation plane et spatiale est la suivante (le centre est A au lieu de O dans les exemples ci-dessous) :



La proposition est donc la suivante :



Remarque :

Toutes les autres liaisons sont des liaisons "pivot". Pour que le système ne soit pas hyperstatique, dans la réalité, il sera nécessaire de porter son choix, non pas sur une liaison pivot telle qu'elle a été présentée précédemment mais plutôt sur une liaison "pivot glissant".

**Question 1.5. D'après la figure 7, relever l'angle total balayé par la tourelle. Conclure sur la validité du modèle en calculant l'écart pour le critère « angle de balayage ».**

Les valeurs maxi et mini sont indiquées sur la figure 7 :

$$\theta = \text{Valeur maxi} + |\text{Valeur mini}| = 16,73 + 14,05 = 30,78^\circ$$

L'angle relevé total balayé par la tourelle est de  $30,78^\circ$

L'écart par rapport au critère "Angle de balayage" est de  $56^\circ - 30,78^\circ = 25,22^\circ$

L'écart de  $25,22^\circ$  en-deçà du critère "Angle de balayage" fait que le système est pour l'instant non conforme au cahier des charges

**Question 1.6.** À l'aide de l'équation de la courbe tendance (figure 8), **calculer** la valeur de l'excentration  $e$  de la manivelle S2 qui garantit le respect du cahier des charges. Suite à cette étude, **conclure** sur l'objectif initialement fixé.

L'équation de la courbe de tendance est :  $\theta = 3,7061 \times e + 0,6115$

$$\text{D'où } e = \frac{\theta - 0,6115}{3,7061}$$

Application numérique : on souhaite  $\theta = 56^\circ$

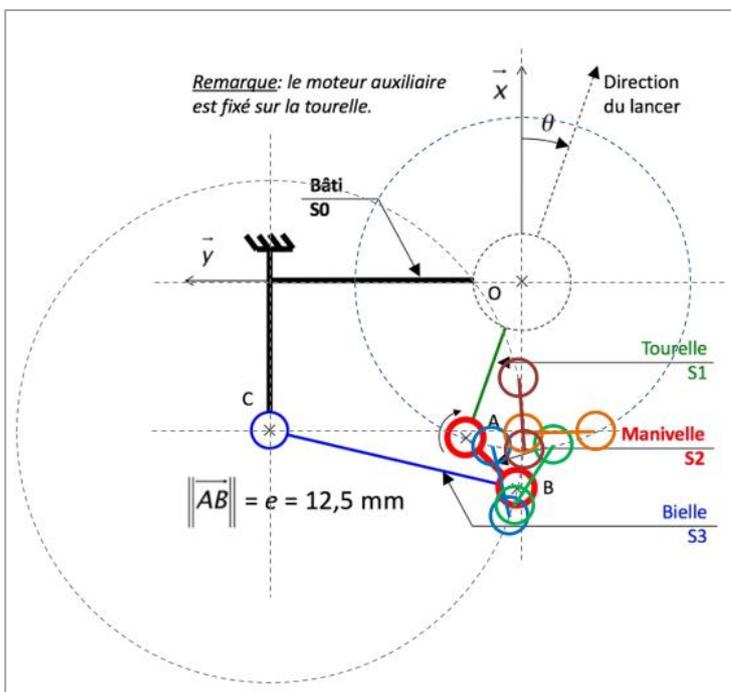
$$\text{Soit } e = \frac{56 - 0,6115}{3,7061} = 14,94 \text{ mm}$$

L'excentration  $e$  de la manivelle S2 pour garantir un angle balayé  $\theta$  de  $56^\circ$  doit être de 14,94 mm

L'objectif qui consistait à déterminer les conditions géométriques du mécanisme d'oscillation de la tourelle pour garantir l'envoi des balles sur toute la zone d'entraînement est garanti si l'excentration de la manivelle est de 14,94 mm

**Question 2.1.** À la lecture du document réponse DR1, **déterminer** le nombre d'aller-retour effectué(s) par la tourelle lorsque la manivelle S2 a fait un tour.

Le raisonnement peut prendre appui sur plusieurs positions du système telles que présentées sur la figure ci-dessous :



Le point A a comme trajectoire un cercle de centre O et de rayon la longueur du bras de la tourelle.

Le mouvement de la tourelle est donc circulaire.

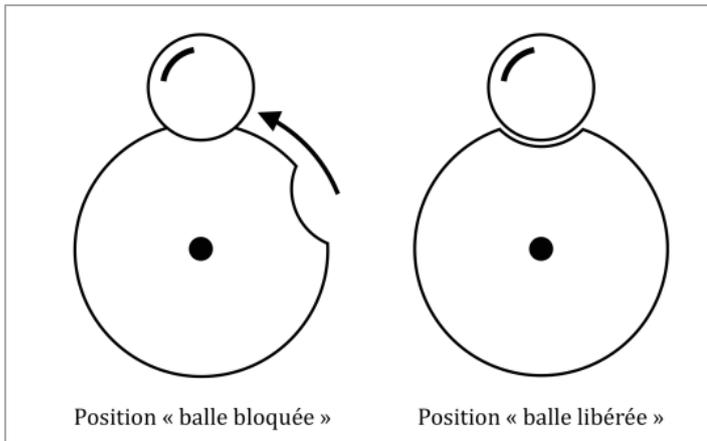
Le point B a comme trajectoire un cercle de centre C et de rayon la longueur de la bielle.

Le mouvement de la bielle est donc circulaire.

Le mouvement de la manivelle sera un mouvement plan général car la trajectoire de deux points de la manivelle par exemple A et B ne forment ni des cercles concentriques ni des lignes parallèles.

Au vu des situations, le nombre d'aller-retour effectué par la tourelle lorsque la manivelle fait un "tour" est de 1

**Question 2.2. Déterminer** le nombre de balles libérées à chaque tour du disque ajouré. D'après les fréquences d'envoi des balles précisées dans le diagramme des exigences (figure 3), **calculer** les vitesses angulaires extrêmes attendues du disque en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .



D'après la représentation ci-contre, seule une balle peut être libérée par tour

Le diagramme des exigences nous donne les fréquences d'envoi des balles :

2

« Physical Requirement »
Fréquence d'envoi des balles
Id = "1.3.2"
Text = "La fréquence d'envoi des balles doit être comprise 0,5 Hz et 2 Hz"

*Compréhension du système de libération des balles :*

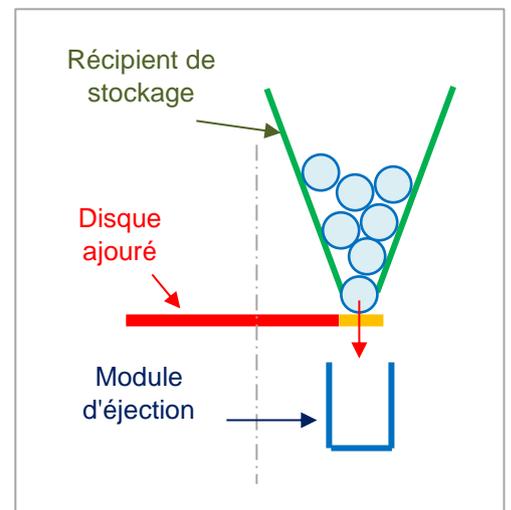
Lorsque la balle est placée en coïncidence avec l'ouverture du disque ajouré, elle passe.

Le système en représentation spatiale serait donc celui-ci :

Ainsi 1 balle peut passer par tour.



Le **hertz (Hz)** est une unité de fréquence très utilisée dans le domaine électrique. La fréquence de notre réseau électrique est 50 Hz. C'est aussi la mesure de la fréquence de répétition d'un évènement qui se répète 1 fois par seconde. Le Hz est équivalent à  $\text{s}^{-1}$



La fréquence doit être comprise entre 0,5 Hz et 2 Hz soit 0,5 balle toutes les secondes ou encore 1 balle toutes les 2 secondes (0,5 Hz) et 2 balles toutes les secondes (2 Hz)

0,5 balle toutes les secondes correspond à  $\frac{1 \text{ tr}}{2 \text{ s}} \equiv \frac{1}{2} \times \frac{2\pi \text{ rd}}{\text{s}} \equiv \pi \text{ rd}\cdot\text{s}^{-1}$

2 balles toutes les secondes correspond à  $2 \frac{\text{tr}}{\text{s}} \equiv 2 \times \frac{2\pi \text{ rd}}{\text{s}} \equiv 4\pi \text{ rd}\cdot\text{s}^{-1}$

Les vitesses angulaires extrêmes du disque ajouré sont  $\pi \text{ rd}\cdot\text{s}^{-1}$  et  $4\pi \text{ rd}\cdot\text{s}^{-1}$

**Question 2.3. Représenter**, sur votre copie, le modèle équivalent électrique de ce nouveau composant. Pour la tension d'alimentation nominale, **calculer** l'intensité du courant nécessaire à l'alimentation de cet actionneur ainsi que la puissance électrique consommée.

Le remplacement du disque ajouré par un solénoïde permettra un lancer de balle selon un rythme plus discontinu. En effet, il ne sera pas utile d'attendre un tour de disque ajouré pour la fourniture d'une balle.



Un **solénoïde** sous sa forme la plus simple est un dispositif constitué d'un fil électrique enroulé en hélice. Parcouru par un courant, il produit un champ magnétique plus particulièrement à l'intérieur de l'hélice. Si on place une armature mobile de fer à l'intérieur de l'hélice, le champ magnétique crée une force qui peut être soit attractive (Pull) soit répulsive (Push) sur l'armature.

Dans le cas du Push, l'armature se trouve maintenue à l'intérieur du solénoïde à l'aide d'un ressort. Lorsque l'on applique un courant, le champ magnétique pousse l'armature en dehors du solénoïde.



Le modèle équivalent est une **résistance** :

L'intensité du courant nécessaire à son alimentation est d'après la loi d'ohm :

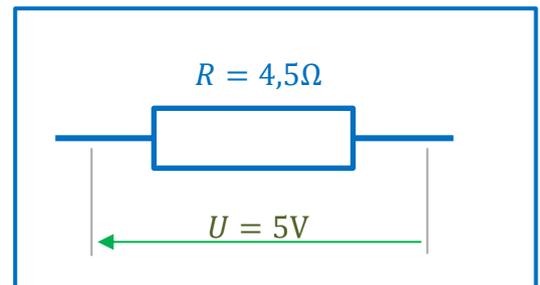
$$U = R \times I$$

$$\text{Soit } I = \frac{U}{R}$$

$$\text{Application numérique : } I = \frac{U}{R} = \frac{5}{4,5} = \frac{1}{0,9} \text{ A} \quad \text{Soit } I \approx 1,11 \text{ A}$$

La puissance électrique consommée est :  $P = \frac{U^2}{R}$

$$\text{Application numérique : } P = \frac{U^2}{R} = \frac{5^2}{4,5} = \frac{25}{4,5} = 5,55 \text{ W}$$



L'intensité du courant et la puissance électrique nécessaires à l'actionneur sont respectivement de 1,11 A et 5,55 W

**Question 2.4. Calculer** la consommation énergétique de la nouvelle solution proposée avec l'actionneur électromécanique dans les mêmes conditions d'entraînement. En **déduire** la surconsommation globale qui serait engendrée par cette évolution.

La consommation énergétique doit être calculée sur une durée de 35 minutes.

$$\text{Soit } E = P \times t$$

$$\text{Avec } P = 5,55 \text{ W} \quad \text{et} \quad t = 35 \text{ mn soit } t = \frac{35}{60} = 0,58 \text{ h}$$

$$\text{D'où } E = P \times t = 5,55 \times 0,58 = 3,22 \text{ Wh}$$

L'actionneur électrique consomme 3,22 Wh

L'ancienne solution consommait 10 % de 15 Wh soit 1,5 Wh

La nouvelle solution crée donc une surconsommation de 1,72 Wh (3,22 – 1,5)

**Question 2.5. Calculer** les intervalles de temps maxi et mini entre chaque lancer (notés  $T_{max}$  et  $T_{min}$ ). À la lecture de l'algorithme (DR2), en **déduire** le nombre de réglages possibles.

Première situation : 0,5 balle toutes les secondes soit une fréquence de 0,5 Hz.

La période de lancer est  $T_{MAXI} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ s}$

Deuxième situation : 2 balles toutes les secondes soit une fréquence de 2 Hz.

La période de lancer est  $T_{MINI} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ s}$

$$T_{MAXI} = 2 \text{ s et } T_{MINI} = 0,5 \text{ s}$$

À la lecture de l'algorithme, l'incrément est de 0,5.

L'écart entre  $T_{maxi}$  et  $T_{mini}$  est donc de 3 réglages

**Question 2.6. Compléter** la partie de l'algorithme (DR2) qui permet de réduire la fréquence d'envoi des balles pour un pas de décrémentation identique à celui de l'incrément. **Conclure** sur le fait que le lancer peut se produire dans une position aléatoire.

